

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Juli 2002 (18.07.2002)

PCT

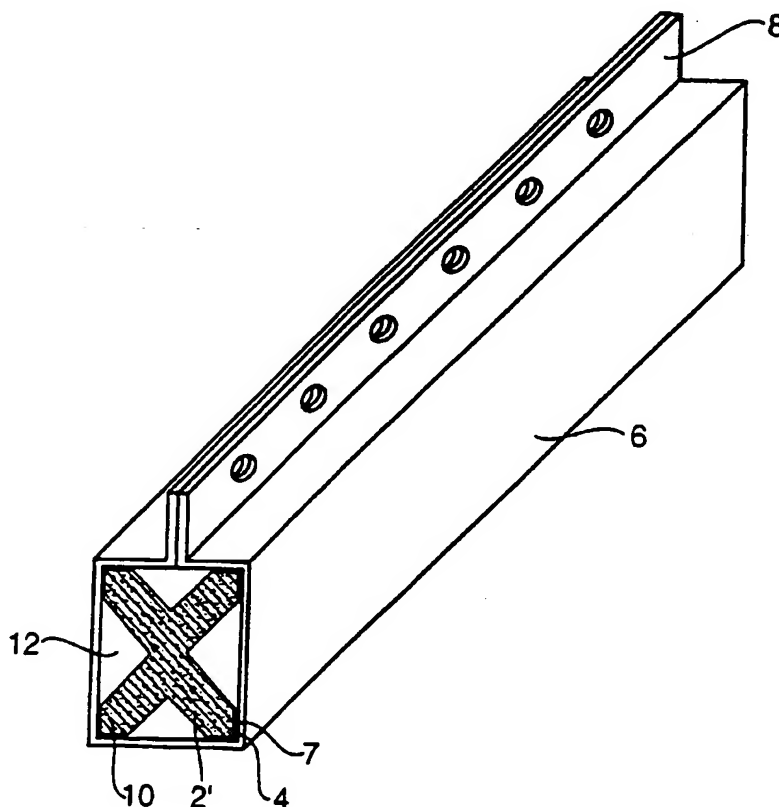
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/055923 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F16S (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/14438 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BURZER, Jörg  
(22) Internationales Anmeldedatum: 8. Dezember 2001 (08.12.2001) (DE/DE); Karlsbader Strasse 67, 71139 Ehningen (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch EIPPER, Konrad [DE/DE]; Dorfanger 26, 72108 Rotten-  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch burg (DE). JAKOB, Ralf [DE/DE]; In der AU 12/1, 76307  
(30) Angaben zur Priorität: 101 01 649 2 16. Januar 2001 (16.01.2001) DE Karlsbad (DE). ROSSOW, Jörg [DE/DE]; Wengertsteige  
(71) Anmelder (nur für Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von 55, 71088 Holzgerlingen (DE).  
US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse  
(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: STRUCTURAL ELEMENT REINFORCED WITH METAL FOAM

(54) Bezeichnung: MIT METALLSCHAUM VERSTÄRKTES STRUKTURELEMENT



(57) Abstract: The invention relates to a structural element (6) which has a continuous surface, encompassing a hollow chamber (12), which is filled at least partially with a metal foam (21). The invention is characterised in that the metal foam and the surface are separated by a material (7) which is capable of expanding.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Strukturelement (6), das eine kontinuierliche Oberfläche aufweist, die einen Hohlraum (12) umschließt, der zumindest teilweise mit einem Metallschaum (21) ausgefüllt ist und zeichnet sich dadurch aus, dass der Metallschaum und die Oberfläche durch ein expansionsfähiges Material (7) getrennt sind.

WO 02/055923 A2



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

### Mit Metallschaum verstärktes Strukturelement

Die Erfindung betrifft ein Strukturelement nach Patentanspruch 1 und ein Verfahren zur Herstellung eines Strukturelementes nach Patentanspruch 6.

Leichtbaustrukturen sind in der Verkehrstechnik, insbesondere in der Automobiltechnik eine wichtige Grundlage zur Reduzierung des Treibstoffverbrauches. Leichtbaustrukturen können über die Wahl der Werkstoffe (z. B. Aluminium) oder durch konstruktive Maßnahmen (Verwendungen von geringeren Wandstärken von Stahlkonstruktionen in Verbindungen mit Verstrebungen) oder durch Kombinationen dieser Maßnahmen realisiert werden.

Bei immer geringere werdenden Wandstärken der Bleche steigt die Gefahr des Einbeulens (geringere Beulfestigkeit) und des katastrophalen Einknicken des Strukturbauteils im Crashfall. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren versucht, Metallschäume, die ein hohes Energieaufnahmevermögen aufweisen, in Aluminiumstrukturbauteilen oder auch in dünnwandigen Stahlstrukturbauteilen zu integrieren.

Die DE 198 13 092 A1 beschreibt ein Strukturelement aus Stahlblech, das mit einem Aluminiumschaum verstärkt ist. Zur Herstellung dieses Strukturelementes wird in ein Hohlprofil über eine Öffnung Aluminiumpulver, das mit einem Treibmittel versehen ist, gefüllt. Anschließend wird das Aluminiumpulver durch eine Temperaturbehandlung, die im Bereich des Schmelzpunktes von Aluminium liegt, aufgeschäumt.

Der Nachteil dieser Erfindung besteht darin, dass die Temperatur zum Aufschäumen so hoch gewählt werden muß, dass die Maßhaltigkeit des Strukturelementes erheblich beeinträchtigt wird, Aluminium als formgebendes Material des Strukturelementes kommt bei dieser Erfindung nicht in Frage. Des Weiteren wird durch die unterschiedlichen elektrochemischen Spannungen an den Grenzflächen zwischen dem Aluminiumschaum und der Stahloberfläche eine Kontaktkorrosion erzeugt, die die Lebensdauer des Strukturbauteils deutlich herabsetzt.

Aus der DE 92 10 257 U1 ist es bekannt, einen Aluminiumschaum in ein Hohlprofil einzukleben oder das Hohlprofil auf den Metallschaum aufzuschrumpfen. Die erste Möglichkeit hat den Nachteil, dass Toleranzen und Spielräume, die bei der Fertigung des Hohlprofils und des Aluminiumschaumbauteils auftreten nicht befriedigend ausgeglichen werden können. Eine vollständige Kraftübertragung zwischen Metallschaum und Hohlprofil ist somit nicht möglich. Das Aufschrumphen erfordert wiederum Wärmebehandlungen, die sowohl das Gefüge des Hohlprofils als auch des Metallschaums nachhaltig schädigen und die mechanischen Eigenschaften des Bauteils negativ beeinflussen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht demnach darin, ein schaumverstärktes Strukturelement bereitzustellen, das gegenüber dem Stand der Technik eine deutlich verringerte Korrosionsneigung, eine höhere Steifigkeit und eine höher Beulfestigkeit aufweist.

Die Lösung der Aufgabe besteht in einem Strukturelement nach Patentanspruch 1 und in einem Verfahren nach Patentanspruch 6.

Das erfindungsgemäße Strukturelement nach Patentanspruch 1 weist ein Hohlprofil auf, das die äußere Form des Strukturelementes darstellt und einen Hohlraum bildet. Ein derartiges Strukturelement ist an sich als Bauelement einsetzbar und

selbsttragend. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Beulfestigkeit, ist das Strukturelement mit einem Metallschaum (Schaumelement), der den Hohlraum zumindest teilweise ausfüllt, verstärkt.

Das erfindungsgemäße Strukturelement weist zudem eine Trennschicht zwischen dem Schaumelement und einer inneren Oberfläche des Hohlprofils auf, die aus einem expandierten Material besteht. Das expandierte Material geht auf ein expansionsfähiges Material zurück, das bei einer Temperaturbehandlung und/oder einer chemischen Behandlung sein Volumen vergrößert. Dies kann ein Expansionsklebstoff oder ein Quellschaum oder ein niedrig schmelzender Metallschaum sein. Besonders geeignet sind Schäume auf der Basis von Polyurethanen oder Epoxid.

Diese Trennschicht verhindert eine Kontaktkorrosion, die in der Regel dann auftritt, wenn Metalle mit unterschiedlichen elektrochemischen Potentialen miteinander in Berührung kommen.

Ein weiterer Vorteil der Trennschicht ist, dass durch diese Schicht Toleranzen, die bei der Fertigung des Hohlprofils bzw. des Schaumelementes, die zum Einbringen des Schaumelementes in den Hohlraum notwendig sind, kompensiert werden können. Dieser Vorteil des erfindungsgemäßen Strukturelementes kommt auch dann zum tragen, wenn das Hohlprofil durch einen nichtmetallischen Werkstoff, wie z. B. Polyethylen oder einen Verbundwerkstoff wie z. B. kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK) dargestellt wird.

Ferner übernimmt die erfindungsgemäße Trennschicht kraftübertragende Funktionen zwischen dem Schaumelement und dem Hohlprofil des Strukturelements und trägt somit zur Steigerung der Karosseriesteifigkeit bei.

Die Dicke der Trennschicht beträgt in der Regel zwischen 0,5 mm und 15 mm, besonders bevorzugt zwischen 1 mm und 3 mm.

In den meisten Fällen wird das Hohlprofil des erfindungsgemäßen Strukturelementes durch Bleche geformt. Dies bietet Vorteile beim Einbringen des Schaumelements in den Hohlraum, insbesondere wenn das Hohlprofil aus zwei oder mehreren Einzelteilen (Teilprofil) gefertigt wird. Ebenso ist es möglich, das Hohlprofil durch Strangpreßprofile oder Gußteile darzustellen. In diesen Fällen sollte der Hohlraum mindestens an einer Seite offen zugänglich sein, damit das Schaumelement in den Hohlraum des Hohlprofils eingeführt werden kann (Anspruch 2).

Die gebräuchlichsten Strukturwerkstoffe sind insbesondere in der Automobiltechnik Legierungen auf Eisenbasis oder Aluminiumbasis oder Magnesiumbasis. Die Vorteile dieser Werkstoffe liegen in ihrer guten Verarbeitbarkeit und in den relativ geringen Herstellungskosten. Die bereits erwähnte Korrosionsbildung zwischen dem Schaumelement und dem metallischen Hohlprofil ist durch den Einsatz der erfindungsgemäßen Trennschicht aus expansionsfähigem Material weitgehend unterbunden. Die Verwendung von Hohlprofilen aus Kunststoffen kann dennoch in einzelnen Fällen zweckmäßig sein, wenn erhöhte Fertigungskosten bei einer weiteren Gewichtsreduktion des Strukturelementes akzeptiert werden können (Anspruch 3).

Die Kräfte, die auf das Strukturelement wirken, sind auf bevorzugte Raumrichtungen ausgerichtet. Es ist demnach im Sinne der Erfindung zweckmäßig, den Hohlraum insbesondere entlang dieser Kraftrichtungen mit Metallschaum auszufüllen, so dass diese Kräfte kompensiert werden können. Hierdurch erfolgt bei annähernd gleicher Stabilität des Strukturelementes eine weitere Gewichtsreduktion, ferner werden Materialkosten eingespart, da weniger Metallschaum eingesetzt wird (Anspruch 4).

Metallschäume auf der Basis von Aluminium und/oder Zink weisen ein hohes Maß an Energieaufnahmevermögen auf und sind auf Grund der relativ geringen Schmelztemperatur von dieser Me-

talle mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand herstellbar (Anspruch 5).

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung nach Patentanspruch 6 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Strukturelementes, das durch ein Hohlprofil gebildet wird und durch ein Schaumelement verstärkt wird. Die für die Patentansprüche eins bis fünf genannten Vorteile gelten ebenfalls für das Verfahren nach Patentanspruch 6.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass ein Schaumelement und/oder ein Hohlprofil, die in ihrer Form an einander angepaßt sind, mit einem expansionsfähigen Material versehen werden. Hierbei ist es möglich das z. B. Schaumelement in ein Bad mit flüssigem expansionsfähigen Material zu tauchen oder es mit dem expansionsfähigen Material zu bestreichen oder zu besprühen. Hierbei ist es notwendig, die Viskosität des expansionsfähigen Materials auf die Anforderung der genannten Aufbringungstechniken anzupassen.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird das mit expansionsfähigen Material beschichtete Schaumelement in den Hohlraum eingeführt. Es ist hierbei notwendig, dass das Hohlprofil bei diesem Verfahrensschritt eine hinreichend große Öffnung aufweist, durch die das Schaumelement eingebracht werden kann und die im weiteren Verfahrensablauf verschlossen wird. Nach diesem Verfahrensschritt befindet sich ein definierter Spielraum zwischen dem Schaumelement und dem Hohlprofil. Zur Vermeidung eines gegenseitigen Verschiebens zwischen dem Hohlprofil und dem Schaumelement ist es zweckmäßig, das Schaumelement am Hohlprofil mechanisch, z. B. durch Klammern oder Schrauben zu fixieren.

Besonders geeignet ist hierfür ein mehrteiliges Hohlprofil, bei der die einzelnen Teile durch Verkleben, Verschweißen, Nieten, Falzen oder durch lösbare Verbindungen zusammengefügt

werden. Das Einbringen des Schaumelements in ein mehrteiliges Hohlprofil vereinfacht den Verfahrensprozeß erheblich.

Im Anschluß erfolgt eine Wärmebehandlung, z. B. nach dem Kathoden-Tauchlackieren die im Rahmen der Prozeßführung zur Herstellung von Karosserieteilen ohnehin notwendig ist. Während dieser Wärmebehandlung expandiert das expansionsfähige Material und es wird eine kraftschlüssige Verbindung mit dem Hohlprofil gebildet, die gleichzeitig als Korrosionsschutz zwischen dem Hohlprofil und dem Schaumelement dient. Durch die Einbindung in eine verfahrensnotwendige Wärmebehandlung können zusätzlich Verfahrenskosten eingespart werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden an Hand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

**Fig. 1** ein Schaumelement in Form eines Quaders.

**Fig. 2** ein Schaumelement mit einem x-förmigen Querschnitt.

**Fig. 3** ein Schaumelement aus Fig. 1, teilweise mit einem expansionsfähigen Material versehen.

**Fig. 4** ein Strukturelement mit einem Hohlprofil und einem quaderförmigen Schaumelement nach Fig. 1.

**Fig. 5** ein Strukturelement mit einem Hohlprofil und einem Schaumelement nach Fig. 2.

Die Figuren 1 und 2 zeigen jeweils ein Beispiel für ein Schaumelement 2 und 2'. Das Schaumelement 2 aus Figur 1 ist als Vollkörper ausgebildet und der Form des Strukturelementes angepaßt. Die quaderförmige Darstellung ist exemplarisch, ebenso könnte das Schaumelement in gebogener und/oder abgerundeter Form dem Strukturelement angepaßt sein.



Die Figur 2 zeigt ein Schaumelement 2', das das Strukturelement teilweise, insbesondere in Richtung der wesentlichen Belastungen ausfüllt. Exemplarisch ist das Schaumelement mit einem x-förmigen Querschnitt ausgebildet. Die Winkel des x sind den Anforderungen des Strukturbauteils anzupassen. Ebenso sind andere, z. B. T-förmige, O-förmig, L-förmige oder komplexere Querschnitte denkbar.

Die Figur 3 zeigt das Schaumelement 2 das, in diesem Fall teilweise mit einem expansionsfähigen Material 4 versehen ist. Das expansionsfähige Material 4 ist so aufgebracht, dass eine Berührung zwischen einem Hohlprofil 6 des Strukturelements 1 und einem Schaumelement 2 vermieden wird.

Die Figuren 4 und 5 zeigen Beispiele für ein Strukturelement, zum einen mit einer Vollschaumfüllung (Figur 4) bzw. mit einer teilweisen Schaumfüllung mit einem x-förmigen Querschnitt (Figur 5). Beide Strukturelemente weisen eine erfindungsgemäße Trennschicht 7 zwischen dem Hohlprofil 6 und dem Schaumelement 5 auf. Das Hohlprofil 6 des Strukturelementes aus den Figuren 5 und 6 ist einteilig ausgebildet und an einer Naht 8 punktgeschweißt. Ebenso ist es möglich, die Oberfläche 6 des Strukturelementes 1 mehrteilig, insbesondere in Form von zwei Halbschalen zu gestalten.

Das Strukturbauteil ist bevorzugt als Karosserieteil in einem Automobil ausgestaltet. Es kann hierbei tragende Funktionen in der Bodengruppe (z. B. als Schweller, Längs- oder Querträger des Motors) übernehmen oder als A-, B- oder C-Säule im Karosserieaufbau eingesetzt sein. Die Form des Strukturelementes ist demnach den konstruktionsbedingten Anforderungen angepaßt. Zudem können erfindungsgemäße Strukturelemente im Fahrwerksbereich und in Motoren eingesetzt werden.

Die Naht 8 ist in den Figuren 4 und 5 lediglich schematisch dargestellt. Generell können alle in der Herstellung von

Strukturbauteilen üblichen Fügeverfahren angewandt werden, das gilt insbesondere für das Falzen, Schweißen, Kleben, Löten, Schrauben oder Nieten.

Die folgenden Beispiele beschreiben ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Strukturelementes.

#### Beispiel 1

Ein Schaumelement auf Aluminiumbasis (Legierung AlSi12), das eine Porosität von 70% und somit eine Dichte von  $0,81 \text{ g/cm}^3$  aufweist und mit einer oberflächlichen Gußhaut mit einer Dicke von etwa 0,3 mm bedeckt ist, ist in Form einer A-Säule eines Pkw's ausgestaltet. Dieses Schaumelement wird in ein Polyurethan-Bad getaucht. Die Eigenschaften des flüssigen Polyurethans, insbesondere die Viskosität und die Haftung sind so eingestellt, dass die Dicke einer haftenden Polyurethanschicht etwa 0,2 mm beträgt.

Das Hohlprofil 6 des Strukturelementes wird aus einem Stahlblechteil geformt. Das Blechteil ist bereits so umgeformt, dass es einen Hohlraum bildet, der entlang seiner Längsseite eine Öffnung aufweist, durch die das Schaumelement in den Hohlraum eingelegt wird. Das Schaumelement wird durch eine Klammer, Schraube, Niete oder ein anderes Befestigungsmittel an der Oberfläche fixiert. Anschließend erfolgt das Fügen des Blechteils an der Naht 8 zu einer geschlossenen Oberfläche. Die Form des Hohlprofils ist so ausgebildet, dass sich zwischen dem Hohlprofil und dem beschichteten Metallschaum ein geringfügiger etwa 3 mm breiter gleichmäßiger Spalt befindet.

Durch eine Wärmebehandlung zwischen  $170^\circ \text{C}$  und  $180^\circ \text{C}$  für etwa 15 min, expandiert die Polyurethanbeschichtung des Schaumelements, hierdurch wird der Spalt zwischen Hohlprofil und Schaumelement geschlossen die erfindungsgemäße Trennschicht wird ausgebildet. Die Wärmebehandlung erfolgt vorzugsweise gleichzeitig mit einem Trocknungsprozeß, der nach der Katho-

den-Tauchlackierung notwendig ist. Die vorläufigen Fixierungen werden abschließend entfernt.

#### Beispiel 2

Ein Schaumelement analog zu Beispiel 1 wird über eine Düse, die von einem Roboterarm geführt wird mit Polyurethan in Form einer pastösen Masse beschichtet. Das beschichtete Schaumelement wird in ein rinnenförmiges Teilprofil aus einer Aluminiumlegierung eingelegt und fixiert. Das Schaumelement steht über den Rand des Profils über. Ein weiteres Teilprofil wird aufgesetzt, die beiden Profile werden an den Nahtstellen mit einem temperaturbeständigen Klebstoff zu einem Hohlprofil verklebt.

Analog dem Beispiel 1 besteht auch ein Spalt zwischen dem Hohlprofil und dem Schaumelement, der während einer Wärmebehandlung durch das expandierende Polyurethan ausgefüllt wird. Die Wärmebehandlung erfolgt indem das Strukturbauteil durch eine Induktionsspule geführt wird. Das hierdurch erwärmte Aluminium überträgt seine Wärme auf das Polyurethan, wodurch die Expansion ausgelöst wird.

Patentansprüche

1. Strukturelement, das ein Hohlprofil mit einem Hohlraum umfaßt, der zumindest teilweise mit einem Metallschaum ausgefüllt ist,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Strukturelement zwischen dem Metallschaum und der Oberfläche des Hohlprofils eine Trennschicht aus expandiertem Material aufweist.
2. Strukturelement nach Anspruch 1  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Hohlprofil in Form von Blechen, Strangpreßprofilen oder Gußteilen ausgebildet ist.
3. Strukturelement nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Hohlprofil aus Aluminium oder aus Eisen oder aus Magnesium, aus Legierungen dieser Metalle oder aus Kunststoff besteht.
4. Strukturelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Hohlraum in die Raumrichtung mit dem Metallschaum verstärkt ist, in denen erhöhte Spannungen auf das Strukturelement wirken.
5. Strukturelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Metallschaum im Wesentlichen aus Aluminium oder Zink oder aus einer Legierung dieser Metalle besteht.

6. Verfahren zur Herstellung eines Strukturelementes, das von einem Hohlprofil umschlossen wird und durch einen Metallschaum mindestens teilweise ausgefüllt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Metallschaum und/oder das Hohlprofil zumindest teilweise mit einem expansionsfähigen Material beschichtet wird,
  - der Metallschaum mit dem expansionsfähigen Material in einen Hohlraum des Hohlprofils gegeben wird,
  - durch eine Temperaturbehandlung das expansionsfähige Material expandiert
  - und Zwischenräume zwischen dem Metallschaum und des Hohlprofils durch das expansionsfähige Material ausgefüllt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der beschichtete Metallschaum vor der Wärmebehandlung im Hohlraum fixiert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturbehandlung im Rahmen eines Vergütungsverfahrens des Strukturelements erfolgt.

1/3

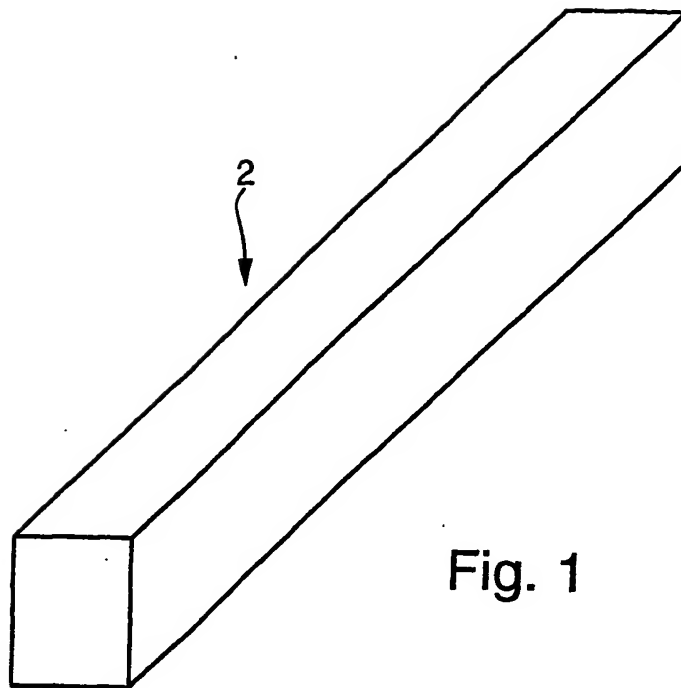


Fig. 1

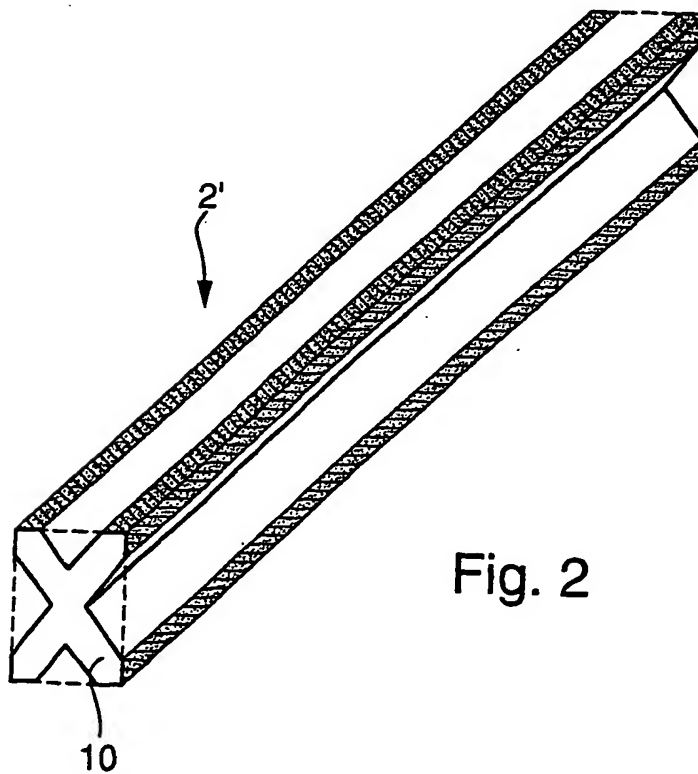


Fig. 2

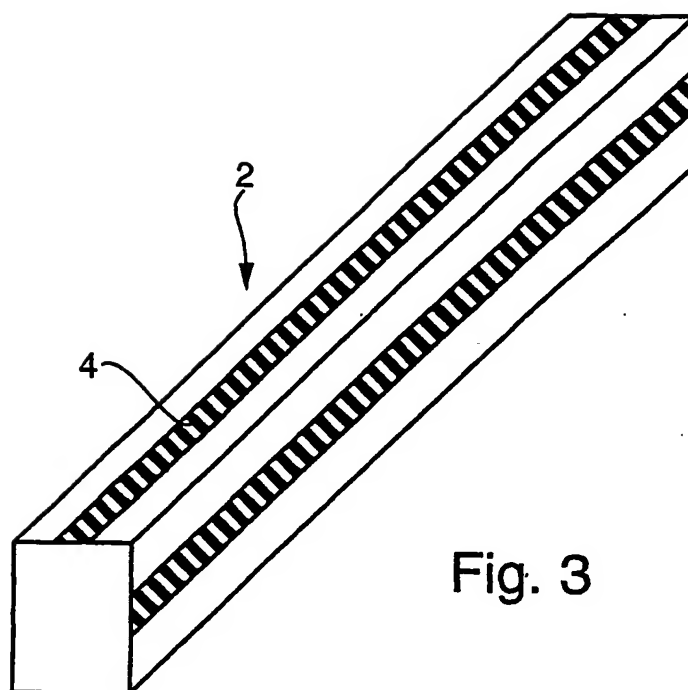


Fig. 3

